

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS DA SACHA INCHI (*PLUKENETIA VOLUBILIS* L.) CULTIVADA NO AMAZONAS

Patrícia Silva da Silva¹, Cristiane Daliassi Ramos de Souza², Francisco Célio Maia Chaves³

¹Graduanda de Engenharia Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil (patriciasilva.eq@gmail.com)

²Professora do Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil

³Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Brasil

Resumo: O trabalho teve como objetivo estudar a capacidade energética das cascas da Sacha Inchi utilizando a Análise Imediata e correlações para estimar o Poder Calorífico. Os resultados para a biomassa residual apresentaram baixo teor de umidade (6%), cinzas (6,29%) e carbono fixo (17,7%). Já o teor de materiais voláteis mostrou-se elevado (75,9%) e o PCS em torno de 18 MJ/kg. Com isso as cascas da Sacha Inchi foram consideradas promissoras para utilização em processos térmicos de conversão de energia.

Palavras-chave: Biomassa; *Plukenetia volubilis* L; Energia sustentável.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o desenvolvimento sustentável e os estudos com a utilização de biomassa para geração de energia têm sido uma tendência mundial, devido à preocupação com o esgotamento dos combustíveis fósseis e o aumento da degradação ambiental. Assim, a busca por fontes alternativas, renováveis e sustentáveis de energia que atendam à demanda mundial é uma necessidade urgente, para o bem do meio ambiente e garantia de condições para existência de vida na terra por mais tempo (Arpia et al., 2021; Di Fraia et al., 2020).

Com isto, a biomassa pode ser definida como todo recurso renovável proveniente de matéria orgânica produzida por seres vivos e que pode ser empregada para a geração de energia por meio de processos físicos, biológicos, térmicos e mecânicos. De acordo com sua origem pode ser classificada como florestal, agrícola, animal e rejeitos urbanos e industrial (Kan et al., 2016).

A Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.), é uma planta semi-perene, trepadeira lenhosa, da família *Euphorbiaceae*, que cresce na floresta amazônica, com centro de origem no Peru, Colômbia, Venezuela e Brasil, também chamada por nomes, tais como, “amendoim inca”, “Amendoim Selvagem”, “Inca Inchi”, “amendoim da montanha”, “Amendoim da Amazônia” ou “Amêndoa Lopo” (Rodrigues et al., 2014).

O fruto da Sacha Inchi é caracterizado por conter cápsulas com 3 a 5 cm de diâmetro, que podem se apresentar com quatro lóbulos, além de possuir uma semente oleaginosa, dentro de cada lóbulo, com grande teor de óleo. A composição do fruto pode ser de 33 a 35% de casca e 65 a 67% de amêndoa (Rodrigues et al., 2014).

A utilização da biomassa residual em processos térmicos de conversão de energia, tipo combustão, pirólise e gaseificação, requer o conhecimento de características importantes para que seja aproveitada de forma eficiente. Entre as propriedades físico-químicas mais relevantes para o uso da biomassa, e que identificam suas qualidades combustíveis, destacam-se a análise imediata, a análise elementar e o poder calorífico (Dirbeba et al., 2017).

A Sacha Inchi possui um grande potencial de aplicação na indústria devido a riqueza de seus óleos (Wang et al., 2018), porém existem poucos estudos quanto ao aproveitamento dos seus resíduos (Chirinos et al., 2016; Kumar et al., 2017). Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar as propriedades físico-químicas e energéticas dos resíduos da *Plukenetia volubilis* L. cultivada no Amazonas.

MATERIAL E MÉTODOS

- Coleta e Pré-Tratamento dos Resíduos

Os frutos da Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) foram coletados do plantio conduzido na sede da

EMBRAPA Amazônia Ocidental, localizada na AM-010, km 29, e enviados para o laboratório da Superintendência do Departamento da Polícia Federal do estado do Amazonas, local onde realizou-se a parte experimental da pesquisa.

A partir da massa de frutos coletados foi efetuado o cálculo do rendimento (%R) para a obtenção das cascas, de acordo com a Equação 1.

$$\%R = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

Com m_i representando a massa dos frutos inteiros (g), e m_f é a massa das cascas (g).

Após a separação manual das cascas, os resíduos foram submetidos à secagem em estufa (Thermo Scientific Heraeus) a 105°C por 2h para a determinação do teor de umidade (%U), conforme a Equação 2. Em seguida, as amostras foram trituradas em um liquidificador para efetuar a classificação granulométrica na faixa entre 40-60 mesh, utilizando peneiras padronizadas (TPL).

$$\%U = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \times 100 \quad (2)$$

sendo, m a massa da amostra (g), m_1 é a massa do cadinho + massa da amostra antes da secagem (g) e m_2 é a massa do cadinho + massa da amostra seca (g).

- Caracterização Físico-Química dos Resíduos

A análise imediata (materiais voláteis, carbono fixo, cinzas) foi determinada em base seca. A norma utilizada como base para os procedimentos foi a NBR 8112 (1986).

Teor de Materiais Voláteis (MV): Realizou-se o tratamento térmico a 900°C em forno mufla (FANEM; modelo 413) por 7 min (após pré-aquecimento por 3 min), obtendo-se o resultado pela Equação 3.

$$\%MV = \frac{(m_2 - m_3)}{m} \times 100 \quad (3)$$

Com m , sendo a massa da amostra (g), m_2 é a massa do cadinho + massa da amostra seca na estufa (g), e m_3 é a massa do cadinho + massa da amostra após mufla (g).

Teor de Cinzas (CZ): Foi a combustão total da amostra a 700°C em forno mufla (FANEM; modelo 413). O resultado foi obtido pela Equação 4.

$$\%CZ = \frac{(m_4 - m_5)}{m} \times 100 \quad (4)$$

sendo, m a massa da amostra (g), m_4 é a massa do cadinho + massa das cinzas (g), e m_5 a massa do cadinho (g).

Teor de Carbono Fixo (CF): foi determinado pelo cálculo da diferença entre a massa inicial e o somatório das massas obtidas pelas etapas anteriores, conforme a Equação 5.

$$\%CF = 100 - (MV + CZ) \quad (5)$$

De modo que %MV é o teor de materiais voláteis, %CZ é o teor de cinzas.

- Caracterização Energética

O Poder Calorífico Superior (PCS) determina a soma dos calores desprendidos pela combustão dos elementos que integram o material. As bombas calorimétricas são utilizadas para determinar o PCS, contudo, este método requer instrumentação específica podendo levar um longo tempo para a obtenção dos resultados (Sheng e Azevedo, 2005). Outra forma para determinar o PCS é a partir de correlações que utilizam dados experimentais da análise imediata (Hasan et al., 2018). Neste trabalho foi utilizada a correlação de Parikh et al. (2005), conforme a Equação 6.

$$PCS = 0,3536 \times CF + 0,1559 \times MV - 0,0078 \times CZ \quad (6)$$

- Análise Estatística

Para auxiliar na interpretação dos resultados experimentais obtidos na análise imediata utilizou-se como ferramenta base a estatística com auxílio do programa Excel versão 2010. O tratamento estatístico dos ensaios foi efetuado aplicando o modelo de regressão linear simples, considerando o nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$). Para verificar a validade do modelo gerado e os coeficientes obtidos foi utilizado a análise de variância (ANOVA) e os testes F, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, verificou-se a massa total dos frutos recebidos (Figura 1a), utilizando uma balança (Mettler Toledo; XP64000L). O valor obtido foi de 3,085 kg de frutos. Foram selecionados 20 frutos, como mostra a Figura 1b, a fim de realizar uma caracterização visual da espécie.



Figura 1. a) Saco com os frutos da Sacha Inchi coletados na Embrapa; b) Frutos selecionados.

Pela análise visual do fruto (Figura 1b) pode-se confirmar o formato capsular estrelado, característico da Sacha Inchi. Posteriormente, os frutos foram quebrados com auxílio de um martelo, para promover a separação das cascas e sementes, sendo possível observar a coloração castanho-escuro das cascas, e a

presença de 4 a 5 sementes ovais (Figura 2), corroborando com resultados da literatura (Garcia et al., 2019).



Figura 2. Cascas e sementes da Sacha Inchi.

Observou-se que as cascas são muito leves, além disso, alguns frutos não foram utilizados na separação cascas/sementes devido a presença de mofo, o que influenciou no cálculo do rendimento. Desta forma, a Tabela 1 apresenta o resultado desta etapa de separação.

Tabela 1. Rendimento do processo de obtenção das cascas.

Massa inicial (frutos) (g)	Massa final (Cascas) (g)	%Rendimento
3085	1601,21	51,90

O rendimento de aproximadamente 52% para obter os resíduos foi considerado satisfatório. No pré-tratamento foram realizados dois processos, secagem e trituração, das cascas. Observou-se que ao triturar os resíduos, ocorreu a dissipação de muito pó, provocando perdas (Figura 3).



Figura 3. Cascas da Sacha Inchi trituradas.

Para a etapa seguinte, a determinação da análise imediata, foi utilizado o material triturado e classificado em peneira granulométrica de 300 μ m (50 mesh). Os resultados dos ensaios, realizados em triplicata, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Análise Imediata para as cascas da Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

Análise	Média dos Ensaios
Umidade (%U)	6,01
Materiais Voláteis (%MV)	75,96
Carbono Fixo (%CF)	17,75
Cinzas (%CZ)	6,29

De acordo com a Tabela 2, a média encontrada para o teor de umidade das cascas da Sacha Inchi foi de 6,01%, valor considerado baixo e próximo do resultado com a mesma espécie do trabalho de Soongprasit et al. (2019) que foi de 5,63%. Sabe-se que valores altos de umidade em uma biomassa irão influenciar no seu custo-benefício, já que quanto maior for este teor, menor será o poder calorífico disponível no material (Grotto et al., 2020).

O resultado do teor de materiais voláteis, das cascas da Sacha Inchi, foi classificado como elevado (75,96%), corroborando com a literatura (Soongprasit et al., 2019; Lakkhana et al., 2017), o que reflete em uma queima rápida, favorecendo a ignição.

Outro parâmetro importante é o teor de cinzas, o qual corresponde à fração residual da biomassa que permanece após a combustão, o resultado encontrado foi considerado relativamente baixo (6%), já que para Vale et al. (2011), apenas valores maiores que 7% prejudicam o processo de combustão. Mesmo assim, o resultado foi inferior aos trabalhos com o mesmo resíduo de Soongprasit et al. (2019) e Lakkhana et al. (2017), que encontraram 8,16% e 11,7%, respectivamente.

Já o teor de carbono fixo, é uma propriedade que está diretamente relacionada à eficiência energética da biomassa. Foi obtido de forma indireta, pela diferença entre os valores do teor de materiais voláteis e o teor de cinzas. Obteve-se uma média de 17,75%, valor superior com relação a literatura (Soongprasit et al., 2019; Lakkhana et al., 2017) pois, quanto maior o teor de carbono fixo, maior será o poder calorífico do combustível, porém mais lentamente ocorrerá a combustão.

Com relação ao Poder Calorífico Superior (PCS), o valor médio calculado pela Equação (6) foi de 18,07 MJ/kg. O poder calorífico é um dos parâmetros mais importantes no estudo do potencial energético de uma biomassa, pois indica a quantidade de energia liberada por unidade de massa no processo de combustão completa. A estimativa encontrada para o PCS mostrou-se próxima das obtidas por outros autores ao avaliarem as cascas da *Plukenetia volubilis* L. (Soongprasit et al., 2019; Lakkhana et al., 2017).

A análise de variância (ANOVA) foi realizada através do método de regressão linear para comparar as médias dos parâmetros estudados na caracterização físico-química, detectando diferenças entre os ensaios. Os resultados estatísticos obtidos por meio da ANOVA podem ser observados na Tabela 3.

É possível observar que apenas o teor de umidade é significativo, uma vez que o p-valor correspondente (0,0193) é menor que o nível de significância considerado (valor $p < 0,05$) e um coeficiente de

determinação elevado ($R^2 = 0,9991$). Entretanto, os demais parâmetros analisados não foram significativos para o modelo analisado.

Tabela 3. Resultado ANOVA da regressão linear dos parâmetros avaliados.

	U	MV	CZ	CF
SQ	0,0001805	29,5757	0,003872	28,9028
MQ	0,0001805	29,5757	0,003872	28,9028
Teste F	1083	0,2348	8,5917	0,2286
p-valor	0,0193	0,7127	0,2093	0,7161
R^2	0,9991	0,1902	0,8957	0,1861

A Figura 4 apresenta os gráficos para os ensaios experimentais e previstos estatisticamente para os teores de (a) umidade (%U), (b) carbono fixo (%CF), (c) cinzas (%CZ) e (d) materiais voláteis (%MV).

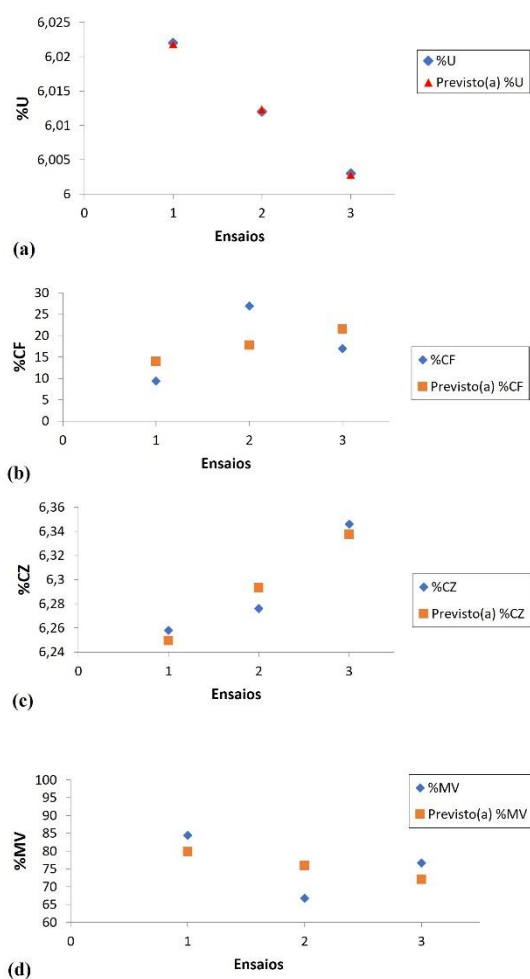


Figura 4. Gráficos dos resultados experimentais e previstos.

Conforme pode ser observado pela Figura 4a, o gráfico para o teor de umidade demonstra a ocorrência do melhor ajuste dos dados experimentais e previstos, refletindo em um coeficiente de determinação bem próximo de 1.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados experimentais obtidos com a análise imediata para calcular o poder calorífico superior, conclui-se que as cascas da Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) podem ser aproveitadas como combustível sólido para a geração de energia em processos térmicos, tais como combustão, gaseificação e pirólise. Portanto, o conhecimento das características energéticas dos resíduos da Sacha Inchi indica o potencial promissor para produção de energia, assim como colabora para o desenvolvimento de tecnologias mais adequadas para o aproveitamento desta biomassa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio financeiro e ao Laboratório da Superintendência do Departamento da Polícia Federal do Amazonas pela disponibilidade do espaço físico para a realização dos experimentos durante a pandemia COVID-19.

REFERÊNCIAS

- ARPIA, A. A.; CHEN, W. H.; LAM, S. S.; ROUSSET, P.; DE LUNA, M. D. G. Sustainable biofuel and bioenergy production from biomass waste residues using microwave-assisted heating: A comprehensive review. **Chemical Engineering Journal**, 2021, v. 403, 126233. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/j.cej.2020.126233.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986.
- CHIRINOS, R.; NECOCHEA, O.; PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) shell: an alternative source of phenolic compounds and antioxidants. **International Journal of Food Science & Technology**, 2016. v. 51, n. 4, p. 986-993. DOI 10.1111/ijfs.13049.
- DI FRAIA, S.; FABOZZI, S.; MACALUSO, A.; VANOLI, L. Energy potential of residual biomass from agro-industry in a Mediterranean region of southern Italy (Campania). **Journal of Cleaner Production**, 2020. v. 277, 124085. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.124085.
- DIRBEBA, M. J.; BRINK, A.; DEMARTINI, N.; ZEVENHOVEN, M.; HUPA, M. Potential for thermochemical conversion of biomass residues from the integrated sugar - ethanol process: fate of ash and

ash-forming elements. **Bioresource Technology** (Epub), 2017. v. 234, p. 188-197. DOI 10.1016/j.biortech.2017.03.021.

GARCIA, L. C.; SOUSA, S. G. A.; MARAJÓ, L. Y. B.; CHAVES, F. C. M. **Tolerância à secagem em sementes de sachá-inchi (*Plukenetia volubilis* L. *Euphorbiaceae*)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. Comunicado Técnico, 137, 2019. 6p. ISSN 1517-3887. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208257/1/Com-Tec-137.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2021.

GROTTO, C. G. L.; COLARES, C. J. G.; LIMA, D. R.; PEREIRA, D. H.; DO VALE, A. T. Energy potential of biomass from two types of genetically improved rice husks in Brazil: A theoretical-experimental study. **Biomass and Bioenergy**, 2020. v. 142, 105816. DOI 10.1016/j.biombioe.2020.105816.

HASAN, M.; HASELI, Y.; KARADOĞAN, E. Correlations to Predict Elemental Compositions and Heating Value of Torrefied Biomass. **Energies**, 2018, v. 11, n. 9, 2443. DOI 10.3390/en11092443.

KAN, T.; STREZOV, V.; EVANS, T. J. Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2016. v. 57, p. 1126-1140. DOI 10.1016/j.rser.2015.12.185.

KUMAR, B.; SMITA, K.; CUMBAL, L.; DEBUT, A. Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) shell biomass for synthesis of silver nanocatalyst. **Journal of Saudi Chemical Society**, 2017. v. 21, p. S293-S298. DOI 10.1016/j.jscs.2014.03.005.

LAKKHANA, C.; ATONG, D.; SRICHAROENCHAİKUL, V. Fuel Gas Generation from Gasification of Sachá Inchi Shell using a Drop Tube Reactor. **Energy Procedia**, 2017. v. 138, p. 870-876. DOI 10.1016/j.egypro.2017.10.109.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, 2005. v. 84, n. 5, p. 487-494. DOI 10.1016/j.fuel.2004.10.010.

RODRIGUES, P. H. V.; BORDIGNON, S. V.; AMBROSANO, G. M. B. Desempenho horticultural de plantas propagadas in vitro de Sachá inchi. **Ciência Rural** (versão online), 2014. v. 44, n. 6, p. 1050-1053. ISSN 1678-4596. DOI 10.1590/S0103-84782014000600016.

SHENG, C.; AZEVEDO, J. L. T. Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. **Biomass and Bioenergy**, Elsevier, 2005. v. 28, n. 5, p. 499-507. ISSN 0961-9534. DOI 10.1016/j.biombioe.2004.11.008.

SOONGPRASIT, C.; AHT-ONG, D.; SRICHAROENCHAİKUL, V.; ATONG, D. Catalytic Deoxygenation Pyrolysis of Sachá Inchi Shell Over SBA-15 Catalyst: An Analytical PY-GC/MS. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 2019. v. 219, n. 1, 012016. DOI 10.1088/1755-1315/219/1/012016.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **CERNE** (online), 2011. vol. 17, n. 2, p. 267-273. ISSN 0104-7760. DOI 10.1590/S0104-77602011000200015.

WANG, S.; ZHU, F.; KAKUDA, Y. Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. **Food Chemistry**, 2018. v. 265, p. 316-328. DOI 10.1016/j.foodchem.2018.05.055.